論文 高周波加熱による単位水量推定の信頼性について

辻本 一志*1・寺石 文雄*2・鈴木 一雄*3

要旨:コンクリートを直接高周波加熱装置で乾燥して単位水量を推定する場合の試験誤差について検討を行った。すなわち、コンクリートのサンプリング場所、試料の縮分の方法及びその量、試料温度、サンプリング時期等の相違が試験結果に及ぼす影響の大きさについて実験的に検討を行った。その結果、コンクリートのサンプリング場所及び縮分の方法が相違することによって試験の精度が異なること、また、試料温度やサンプリング時期については、試料の質量減少量をもとに加熱時間を定めることにより、その影響を排除できることを明らかにした。

キーワード:コンクリート,単位水量,迅速推定,高周波加熱法,サンプリング,補正値

1. はじめに

生コン工場の工程管理で実施する単位水量の迅速推定方法としては,測定原理が分かりやすく,試験機器の価格が安価で試験時間も短いことが要求されており,この観点から一般に高周波加熱法が多く採用されている。この試験は,ウエットスクリーニングによって得られたモルタルを用いて行われるが,その前後では,モルタルの配合が変化するため 1),これが試験誤差の大きな要因となっている。

そこで,本研究では,ウエットスクリーニングを行わず,採取したコンクリートをそのまま高周波加熱装置によって加熱し,単位水量を推定する方法について,種々の要因が試験結果に及ぼす影響の大きさを求め,当該試験方法の信頼性を提示するための情報を収集することを目的とし,以下の項目について検討を行った。

- (1)セメントの結合水,骨材の吸水率の補正
- (2)高周波加熱装置の出力
- (3)試料容器の種類
- (4) コンクリートのサンプリング場所
- (5)試料の縮分方法及びその量
- (6)試料及び環境温度
- (7)サンプリング時期

2. 単位水量の推定値の補正について

コンクリートを加熱させて単位水量を推定する場合には,セメントと結合する水量や骨材の吸水量を正しく補正することが必要である²⁾。

- 2.1 セメントの結合水
- (1) 実験方法

実験に用いたセメントは,製造工場の異なる 3 種類の普通ポルトランドセメント(密度: $3.15 \sim 3.16 \mathrm{g/cm^3}$,比表面積 $3,260 \sim 3,330 \mathrm{cm^2/g}$)と 3 種類の高炉セメント B 種(密度: $3.04 \mathrm{g/cm^3}$,比表面積 $3,750 \sim 3,810 \mathrm{cm^2/g}$)である。

試料は,セメント 100g を直径 15cm の磁製蒸発皿内で計量した後,水セメント比が 40,50 及び 60%となるように所定量の水を 2g 残して累加計量し,さじによって約1分間練り混ぜたセメントペーストとした。練混ぜ完了後,さじに付着したセメントペーストを残り 2g の練混ぜ水で磁製蒸発皿内に洗い流し,計量した全ての材料を対象に試験を行った。

試料の質量を,注水後5,30,60及び90分において,0.1gの精度で測定した後,高周波出力1,600Wの高周波加熱装置を用いて,6分間(加熱時間1分当たりの質量減少量が0.1g以下となるまでの時間を予め求めた)乾燥した。

- *1 全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 (正会員)
- *2 高知県生コンクリート東部協同組合 共同試験所 所長(正会員)
- *3 全国生コンクリート工業組合連合会 中央技術研究所 所長 工博(正会員)

(2)実験結果

実験結果は表 - 1に示すようであって,表 - 1の欄外に示す式によって求めた質量変化率は,普通セメントが -0.64~+0.18%(平均-2.5%),高炉セメント B 種が -0.90~ -0.14(平均-4.5%)%となっている。これらが単位水量の推定値に及ぼす影響は,後述表 - 3の配合 No.2を例にとると,普通セメントが約 1kg/m³,高炉セメントB種が約 1.7kg/m³となる。したがって,当該試験を精密に行うのであれば,事前にセメントの乾燥による質量減少率を求め,その分の補正を行うことが必要と思われる。なお,乾燥前より乾燥後の質量が小さくなったことは、セメント中に存在していた湿分や石膏からの脱水によるものと思われるが定かではない。

2.2 骨材の吸水率

(1) 実験方法

表 - 2 に示す 3 種類の細骨材及び 7 種類の粗骨材の吸水率を炉乾燥 (JIS A 1109 又は JIS A 1110)による方法と高周波加熱装置を用いた方法によってそれぞれ測定した。高周波加熱装置による方法は,試料の質量を 500g とし,加熱前の質量と加熱後の質量(乾燥による質量減少量が 0.1g 以下となった時点)とを用いて JIS A 1109 又は JIS A 1110 に従って吸水率を計算した。試験の繰返し回数は 3 回とした。

(2) 実験結果

実験結果は表 - 2に示すようであって,高周 波加熱装置によって求めた吸水率の方が炉乾燥 より大きくなっており,両者の差は細骨材が +0.12~+0.24%,粗骨材が+0.06~+0.28%となっ ている。これら吸水率の差が単位水量の推定値 に及ぼす影響は,細骨材 S-1 と粗骨材 G-6 を用 いた場合,後述表 - 3の配合 No.3 を例に取ると, 単位水量の推定値は,炉乾燥による方が高周波 加熱によりも約 5kg/m³大きくなる。

3. 試験条件の相違が単位水量の推定精度に 及ぼす影響

コンクリートを試料として単位水量の推定を

行う場合には,試料中の粗骨材量のバラツキが

表 - 1 セメントの質量変化量

W/C	セメン	質量変化率(%)				
(%)	トの	注水	30分	60分	90分	
	種類	直後	後	後	後	
	N-1	-0.46	-0.64	-0.50	-0.42	
	N-2	-0.22	-0.26	0.12	-0.08	
40	N-3	-0.33	-0.56	-0.20	-0.28	
40	BB-1	-0.38	-0.24	-0.34	-0.26	
	BB-2	-0.42	-0.40	-0.66	-0.34	
	BB-3	-0.48	-0.54	-0.60	-0.40	
	N-1	-0.38	-0.54	-0.42	-0.20	
	N-2	-0.10	-0.06	-0.28	0.16	
50	N-3	-0.29	-0.32	-0.32	-0.06	
	BB-1	-0.53	-0.84	-0.28	-0.28	
	BB-2	-0.49	-0.70	-0.52	-0.72	
	BB-3	-0.42	-0.38	-0.38	-0.46	
	N-1	-0.48	-0.60	-0.16	-0.34	
	N-2	-0.35	-0.36	0.18	-0.10	
60	N-3	-0.36	-0.32	0.00	-0.08	
	BB-1	-0.43	-0.14	-0.54	-0.86	
	BB-2	-0.49	-0.52	-0.54	-0.90	
	BB-3	-0.42	-0.32	-0.38	-0.32	

質量変化率(%) = (加熱後の質量 - セメントの計量値) / セメントの計量値 } × 100

表 - 2 細骨材の物理試験結果

記号	種類	表乾	吸水率(%)		単位容	微粒	粗粒	
		密度	炉乾	高周	差	積質量	分量	率
		(g/cm ³)	燥	波	-	(kg/L)	(%)	
S-1	陸砂	2.63	1.63	1.87	+0.24	1.70	1.3	2.53
S-2	砕砂	2.65	1.66	1.78	+0.12	1.67	2.3	3.38
S-3	山砂	2.60	2.38	2.59	+0.21	1.56	1.6	2.09
G-1	砕石	2.64	0.65	0.78	+0.13	1.63	0.6	6.84
G-2		2.70	0.54	0.66	+0.12	1.63	0.4	6.64
G-3		2.70	0.86	0.92	+0.06	1.63	0.2	6.62
G-4		2.65	1.77	1.83	+0.06	1.54	0.4	6.74
G-5		2.68	2.07	2.19	+0.12	1.56	0.4	6.64
G-6		2.61	2.48	2.76	+0.28	1.57	0.2	6.67
G-7	川砂利	2.66	1.10	1.19	+0.09	1.73	0.2	6.89

表中 S-1 及び G-1 は , 表-3 の配合 No.1 ~ 3 のコンクリートに用いた骨材を , S-2,S-3,G-2,G-3 は配合 No.4 のコンクリートに用いた骨材を示す。また , S-2 と S-3 及び G-2 と G-3 の混合比は , それぞれ 4:6 である。なお , G-4 ~ G-7 は 2.2 の実験にのみ用いた。

推定値に大きな影響を及ぼすため,コンクリートのサンプリングや試料の縮分の適切な手順が必要となる。また,試料容器や高周波加熱装置の諸元が異なると試料の加熱時間が相違することも危惧される。

3.1 試料の量

(1) 実験方法

実験では、表 - 3 に示す配合 No.2 のコンクリ

ートを 10L 練り混ぜ,後述の 3.2 に示したサンプリング方法 A に従って同一バッチから 400,800 及び 1200g の試料を 1 つずつ分取した。コンクリートの加熱は,加熱前の質量を 0.1g の精度で測定した後,高周波出力 1,600W の高周波加熱装置を用いて,1 分当たりの質量減少量が0.1g となるまで行い,次式によって単位水量を推定した。試験の繰返し回数は 3 回とした。なお,質量測定は,加熱開始から 4 分後に 1 回目を行い,以後 1 分間隔で行った。

$$X_{1} = \left(\frac{Q_{S}}{100 + Q_{S}}\right) S_{U} \frac{\left(W_{U} + C_{U} + S_{U} + G_{U}\right)}{M_{1}} \tag{1}$$

ここに, X_1 ;細骨材の吸水分の補正量(g)

Qs ; 細骨材の吸水率(%)

W_U;配合上の単位水量(kg/m³)

C_U ;配合上の単位セメント量(kg/m³)

S_U ;配合上の単位細骨材量(kg/m³)

G_U;配合上の単位粗骨材量(kg/m³)

M₁; コンクリートの採取量(g)

$$X_{2} = (\frac{Q_{G}}{100 + Q_{G}})G_{U} \frac{(W_{U} + C_{U} + S_{U} + G_{U})}{M_{1}}$$
 (2)

ここに, X2; 粗骨材の吸水分の補正量(g)

Q_G;粗骨材の吸水率(%)

$$X_{3} = Ad_{U}P\frac{(W_{U} + C_{U} + S_{U} + G_{U})}{M_{1}}$$
(3)

ここに、X3; 固形分の補正量(g)

Adu;配合上の混和剤の単位量(kg/m³)

P ; 混和剤中の固形分率(%)

$$We_e = \{ (M_1 - M_2) - X_1 - X_2 + X_3 \} \frac{(W_U + C_U + S_U + G_U)}{M_1}$$
 (4)

ここに, We ; 単位水量の推定値(kg/m³) M₂; 乾燥後のコンクリートの質量(g)

(2) 実験結果

実験結果は表 - 4に示すようであって,単位 水量の推定値の平均値は $178.3 \sim 180.2 \text{kg/m}^3$ と なっており,試料の量に起因する大きな差異は 認められない。しかし,これらの標準偏差は, 400 g の場合 5.5kg/m^3 ,800 g が 1.1kg/m^3 ,1,200 g が 2.0kg/m^3 であって,400 g の値が大きくなって いる。これらのことより,分取量を 800 g 以上と

表 - 3 コンクリートの配合

配合	W/C	s/a	単位量(kg/m³)				
No.	(%)	(%)	W	С	S	G	Ad
1	40	40.3	185	462	652	910	4.62 1
2	50	43.0	185	370	727	982	925 ²
3	60	44.7	185	307	779	1060	768 ²
4	49.8	46.8	183	368	803	943	980 ²

注) スランプ及び空気量の目標値は,18cm 及び4.5%である。 1 高性能 AE 減水剤, 2 AE 減水剤(単位:mL/m³)

表 - 4 試料の量の相違が推定単位水量に 及ぼす影響

試料		単位水量 (kg/m³)					
の量	配合	配合 推定 差 範囲 標準					
(g)	値 A	偏差	(分)				
400		178.3	-6.7	9.2	5.5	7.0	
800	185	179.4	-5.6	2.1	1.1	9.7	
1200		180.2	-4.8	4.0	2.0	11.3	

表 - 5 試料の分取方法

サンプリ ング方法	ハンドスコップでサンプリングしたコン クリートを試料容器に移した後、ハンドス
A	│コップの内側に付着したモルタルをゴム │へらでかき取り、これを試料容器に移す。
サンプリ	ハンドスコップでサンプリングしたコン
ング方法 B	クリートを試料容器に移す。(かき取りは 行わない。)
サンプリ	あらかじめモルタル分を付着させたハン
ング方法	ドスコップを用い、試料をサンプリングす
С	る。(かき取りは行わない。)

することによって比較的バラツキを小さくできるものと思われる。

なお,後述 3.2 の実験 (試料の量は 800g)におけるサンプリング方法 A の標準偏差は 3.0 ~ $3.2 kg/m^3$ であることを考慮すると,本実験の標準偏差は,通常よりも小さな値と思われる。

3.2 試料の分取

(1) 実験方法

試料の分取に関する実験は,表-3に示す配合 No.1~3 のコンクリートを 10L 練り混ぜ,同一バッチから表-5に示す3種類の方法によってそれぞれ 800 ± 50 gのコンクリートを1回で分取し,単位水量の推定値を比較した。試験の繰返し回数は3回とした。なお,試験手順及び推定値の計算は,3.1 (1)と同様とした。

(2) 実験結果

実験結果は表 - 6 に示すようであって,単位 水量の推定値の平均値は 183.0~188.4kg/m³と なっており,試料の分取方法の相違が推定値に及ぼす影響は明確でない。しかし 標準偏差は、サンプリング方法 A が $3.0 \sim 3.2 \text{kg/m}^3$,方法 B が $4.6 \sim 5.2 \text{kg/m}^3$,方法 C が $4.1 \sim 7.7 \text{kg/m}^3$ となっている。このため 試料を分取する場合には、ハンドスコップに付着したコンクリートをゴムへら等でかき取り、これも試料の一部とすることで 推定値の変動を小さくできると思われる。

3.3 試料容器の種類

(1) 実験方法

実験に用いたコンクリートは表 - 3 に示す配合 No.2 であって,1 バッチの量を 800g として磁製蒸発皿(直径 21cm),ステレス製バット(縦17cm×横 22cm×深さ 3cm)及び試験用ふるいの受け皿内でそれぞれ練り混ぜた。また,試験手順及び推定値の計算は3.1(1)と同様とした。

(2) 実験結果

実験結果の一例は図・1に示すようであって、加熱所要時間は、磁製蒸発皿を用いた場合が 9分、ステンレス製バット及び試験用ふるいの受け皿が 10分であり 磁製蒸発皿を用いた方が若干短くなる傾向となったが、加熱終点における単位水量の推定値は 184.9~185.3kg/m³であって、配合値に近い値となっているとともに、試料容器の種類による差異は認められない。磁製蒸発皿を用いた場合の加熱時間が短くなったのは、ステンレス製バットや試験用ふるいの受け皿等の金属製の容器より放熱性が低いため、加熱初期の試料の温度上昇が速いためと考えられる。以上より、当該試験に用いる試料容器は、迅速性の要求度や使用目的を考慮して、これらの中から選定すればよいものと思われる。

3.4 高周波加熱装置の出力

(1) 実験方法

実験に用いたコンクリートは,表-3に示す配合 No.1~3であって,1バッチの量を800gとして3.3と同様のステンレス製バット内で練り混ぜた。練混ぜは,試料容器内でセメント及び細骨材を計量した後,混和剤を含む練混ぜ水を所定量から2g減じた量を投入し,モルタルが均

表 - 6 試料の分取方法の相違が単位水量の 推定値に及ぼす影響

W/C	試験 No.	単位水量の推定値(kg/m³)					
(%)		方法	方法	方法			
	1	189.1	191.4	189.2			
	2	187.3	182.4	181.7			
40	3	183.3	185.6	188.2			
40	平均	186.6	186.5	186.4			
	範囲	5.8	9.0	7.5			
	σ	3.0	4.6	4.1			
	1	184.7	181.4	189.9			
	2	187.5	188.8	179.0			
50	3	181.1	178.7	181.2			
50	平均	184.4	183.0	183.4			
	範囲	6.4	10.1	10.9			
	σ	3.2	5.2	5.8			
	1	191.8	188.1	196.4			
60	2	186.1	190.3	183.2			
	3	187.3	181.2	182.9			
	平均	188.4	186.5	187.5			
	範囲	5.7	9.1	13.5			
	σ	3.0	4.7	7.7			

表中の は,標準偏差(kg/m³)を示す。

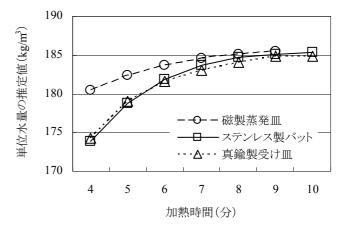


図 - 1 試料容器の相違が単位水量推定値 に及ぼす影響

ーとなるまで行った。つぎに,粗骨材を加えコンクリートが均一となるまで再び練り混ぜた。 混ぜ完了後,さじに付着したモルタルを練混ぜ 水の残り2gで蒸発皿内に洗い流し,使用材料の 全てを試験に用いた。なお,試験手順及び推定 値の計算は3.1 (1)と同様とした。

(2)実験結果

実験結果は図 - 2に示すようであって,単位 水量の推定値は 184.1~185.6kg/m³ となっており,高周波出力の相違による影響は認められない。しかし,加熱所要時間は,高周波加熱装置の高周波出力にほぼ反比例し,高周波出力1,600Wの場合が10分であるのに対し,1,100W の場合は 16 分であった。したがって,試験を迅速に行うためには,高周波出力 1,600W 程度の装置を用いる必要がある。

3.5 サンプリング場所

(1) 実験方法

コンクリートのサンプリングに関する実験では、実際に生コン工場から出荷されるコンクリートを製造工程に従ってミキサ、ホッパ及びホッパから排出されたコンクリートを受けたショベルの順で約800g採取し、単位水量の推定値を比較した。コンクリートの採取は、ミキサ及びホッパの場合、それぞれの点検口から長柄杓によって上層部の3個所から行った。また、ショベルで受けたコンクリートの採取は、試験室まで約50m運搬した後、上層部の3個所から行った。なお、試験手順及び推定値の計算は3.1(1)と同様とした。

(2) 実験結果

実験結果は図・3に示すようであって、単位水量の推定値はサンプリング場所によって相違しており、それぞれの推定値と配合値との差(推定値・配合値)は、ミキサから採取した場合平均4.7 kg/m³、ホッパが・0.9 kg/m³、ショベルが・3.8 kg/m³となっている。コンクリートを直接試料として用いる場合には、試料中の粗骨材量のバラツキが推定値に大きな影響を及ぼすため、特にスランプが18cm程度の軟練りコンクリートの場合には、材料分離しないようにサンプリングすることが重要である。なお、トラックアジテータからのサンプリングについては、今後の検討課題である。

3.6 試料及び環境温度

(1) 実験方法

実験は 表 - 3に示す配合 No.2 のコンクリートを 10,20 及び 35 に設定した恒温室で,それぞれ1バッチの量を 800g として3.3 と同様のステンレス製バット内で練り混ぜた。練混ぜ完了後,試料温度及び高周波加熱装置の庫内温度が室温に対して±1 の範囲にあることを確認した後,3.1 (1)と同様に試験を行った。

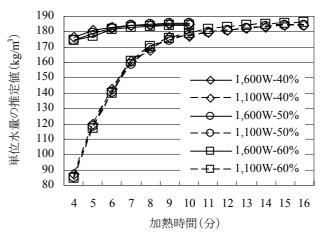
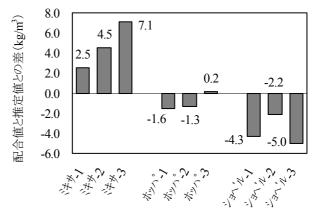


図 - 2 高周波加熱装置の出力が単位 水量の推定値に及ぼす影響



サンプリング場所-試験No.

図-3 サンプリング場所の相違が単位水 量の推定値に及ぼす影響

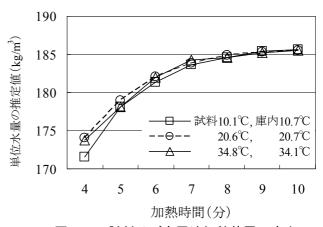


図-4 試料及び高周波加熱装置の庫内 温度が加熱所要時間に及ぼす影響

(2) 実験結果

実験結果は,図-4に示すようであって,試料温度及び環境温度が10 の場合,初期の質量減少量が他の温度より小さくなっている。しかし,加熱時間8分を超えると他の温度との差は

なくなり,加熱終了時の単位水量の推定値に差異は認められず,その値は $185.5 \sim 185.6 \text{kg/m}^3$ となっている。以上より,加熱終了の判断を質量減少量によって判断する場合には,試料温度や環境温度の影響を考慮しなくてよいものと思われる。なお,図 - 4 において,たとえば加熱時間を 4 分間とした場合,試料温度 10 の推定値は, 2kg/m^3 程度小さくなる。

3.7 サンプリング時期

(1) 実験方法

実験では、表 - 3に示す配合 No.2のコンクリートを 10L練り混ぜ、3.2に示したサンプリング方法 Aによって800gの試料をミキサ内から3ヶ分取し、注水後5,45及び90分の時点で3.3と同様に試験を行った。なお、分取した試料は、ステンレス製バットにラップ材で覆い、所定の経過時間まで20の恒温室にて静置した。

(2) 実験結果

実験結果は図 - 5示すようであって,単位水量の推定値は,注水後5分及び45分の平均値が185.3kg/m³,90分が185.7kg/m³となっており,明確な経過時間の影響は認められない。これより,高周波出力1600W程度の高周波加熱装置を用いれば,注水から試験開始までの経過時間は考慮しなくてよいと思われる。

5. まとめ

コンクリートを試料とした高周波加熱法について,種々の要因が試験結果に及ぼす影響の大きさを実験によって求め,当該試験方法の信頼性について検討を行った。この研究によって得られた成果を要約すれば以下のとおりである。

- 1) セメントペーストを加熱した場合 加熱後の質量はセメントの計量値より若干小さくなり , その質量減少率は , 普通セメントが -0.64~+0.18% ,高炉セメント B 種が -0.90~ -0.14%であった。
- 2) 高周波加熱装置を用いて求めた骨材の吸水率は JIS A 1109 又は JIS A 1110 によって求めた吸水率より大きく,両者の差は細骨材が+0.12

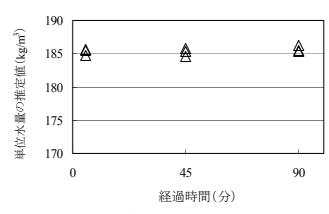


図-5 サンプリング時期の相違が単位水量の 推定値に及ぼす影響

- $\sim +0.24\%$, 粗骨材が $+0.06 \sim +0.28\%$ であった。 これらが推定値に及ぼす影響は , 大きいもので 約 $5 \log/m^3$ となる。
- 3) 試験に用いる試料の量を 800g 以上とすることにより, 比較的安定した試験値が得られる。
- 4) 試料を分取する場合には、ハンドスコップ に付着したコンクリートをゴムへら等でかき取り、これも試料の一部とすることによって,推定値の変動を小さくできる。
- 5) 試料容器として磁製蒸発皿を用いた場合の 加熱時間は金属製の容器を用いた場合より1分 程度短くなる。
- 6) コンクリート試料 800g の加熱所要時間は, 高周波出力 1,600W を用いた場合が 10 分, 1,100W が 16 分となったが,推定値に差異は認 められなかった。
- 7) 試料温度及び環境温度が 10~35 の範囲の場合,これらが単位水量の推定値に及ぼす影響は,ほとんどないと思われる。
- 8) 生コンの運搬時間の範囲では,注水から試験開始までの経過時間が推定値に及ぼす影響は内ものと思われる。

参考文献

- 1) 辻本,寺石,鈴木:高周波加熱法によるフレッシュコンクリートの単位水量の迅速推定に関する基礎研究、日本コンクリート工学協会年次講演概要集,Vol.24,No.1,pp.987-992、2002.6
- 2) 日本建築学会:まだ固まらないコンクリートの単位水量の試験方法(加熱乾燥法),コンクリートの早期迅速試験方法集,pp.28-30,1988.3